Der Spannungseffekt der Dielektrizitätskonstante in dielektrischen Flüssigkeiten und ihren Mischungen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Von

Chi Tso-Chun
aus Wei-Hai-Wei (China)

Tag der mündlichen Prüfung: 19. 7. 1939
Tag der Promotion: 17. 10. 1940

1939

Druckerei wissenschaftlicher Werke Konrad Triltsch
Würzburg-Aumühle

N 56

Referenten: Prof. Dr. Nikuradse.
Prof. Dr. Gerthsen.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis.

Seite

1) Einleitung und Zielsetzung 1

2) Wahl der Meßmethode 2

3) Aufbau der Meßapparatur unter Berücksichtigung der Fehlerquellen 3

   a) Gesamtschaltung

   b) Eichung der Apparatur

   c) Inbetriebnahme der Apparatur

   d) Versuchszelle

4) Durchführung der Messung 15

5) Meßergebnisse und ihre Auswertung 16

   a) Spannungseffekt der Dielektrizitätskonstante in Einzelflüssigkeiten

   b) Spannungseffekt der Dielektrizitätskonstante in Mischungen

6) Zusammenfassung 31

7) Literaturverzeichnis 33

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543927_0031

1. Einleitung und Zielsetzung.

Bereits die frühesten Messungen der Dielektrizitätskonstante (D. K.) führten zu verschiedenen elektronentheoretisch begründeten Auffassungen über die flüssigen Dielektrika. Insbesondere die Dispersions- und Absorptionserscheinungen und die Temperaturabhängigkeit der Molekularpolarisation führten zur Dipoltheorie von P. Debye (1). Durch die Debye'sche Theorie wurden sowohl Messungen der DK bei niedrigen als auch bei hohen Feldstärken veranlaßt. Diese erfolgten vor allem, um zu prüfen, ob die hierzu erwartende dielektrische Sättigungserscheinung, die sich als Abnahme der DK bei hohen Feldern proportional dem Quadrat der Feldstärke zeigt, mit den Berechnungen der Dipoltheorie übereinstimmt. Die Übereinstimmung wurde von Herweg (4) am Äthyläther nachgewiesen, einem Stoff, der als assoziationsfrei bekannt war und dabei infolge seiner geringen Leitfähigkeit der Messung bei hohen Feldern mit der Schwebungsmethode zugänglich ist.

Gleichzeitig setzt eine Reihe von Messungen der Molekularpolarisation und ihrer Abhängigkeiten ein, die mehr und mehr auf die speziellen Bedingungen der Dipoltheorie eingestellt wurden, wie z. B. die zahlreichen Messungen an verdünnten Lösungen zu Berechnungen von Dipolmomenten zeigen.

Immer deutlicher stellte sich dabei heraus, daß bei den ausgeprägten Dipolstoffen, wie z. B. Wasser und Alkohol, der Einfluß der Wechselwirkung benachbarter Dipole hier so stark ist, daß die Eigenschaften der Einzeldipole vollständig überdeckt werden. Diese Wechselwirkungskräfte müssen sich nun besonders gut erfassen lassen, wenn es gelang, die Messung der dielektrischen Sättigung auf diese hochassoziierten Stoffe auszudehnen, d. h., wenn man auf die Dipole von außen her Kräfte mindestens derselben Größenordnung wie die Wechselwirkungskräfte einwirken lassen konnte. In der Tat hatten Malsch und Hänsel (3) eine solche Untersuchung angestellt. Wegen der Schwierigkeit der Absolutbestimmung des Spannungseffektes hatte Hänsel bei konstanter Spannung die Temperaturabhängigkeit

gemessen. Die Meßergebnisse waren nicht in quantitativer Übereinstimmung mit der Dipoltheorie; sie wurden durch die Strukturtheorie von Malsch erklärt.

In der vorliegenden Arbeit sollte die Abnahme der Dielektrizitätskonstanten bei hohen Spannungen untersucht werden. Es wurden verschiedene Einzelflüssigkeiten und einige Mischungen gemessen.

2. Wahl der Meßmethode.

Vergleicht man die in der Literatur veröffentlichten Werte der Dielektrizitätskonstanten, so kann man feststellen, daß die Werte für ein und dieselbe Substanz in den verschiedenen Veröffentlichungen große Unterschiede aufweisen. Dies liegt daran, daß die verwendeten Meßverfahren verschieden waren. Die Methoden der experimentellen Bestimmung der DK gehen auf drei Grundtypen zurück:

1) Kapazitätsmethode.
2) Kraftwirkungsmethode,
3) Wellenlängenmessung.

Bei der Kapazitätsmethode wird zuerst die Kapazität eines Kondensators mit dem betreffenden Medium und dann mit Luft gemessen. Da die Kapazität eines Kondensators ε-mal größer ist in dem Medium mit der DK ε als in der Luft, so kann man aus den obigen Kapazitätsmessungen die DK ε bestimmen. Zur Kapazitätsvergleichung wird entweder die Brückenschaltung oder die Schwebungsschaltung verwendet. Die Meßspannung kann Wechsel- oder Gleichspannung sein.

Bei der Kraftwirkungsmethode unterscheidet man zwei Gruppen. Bei der ersten werden die Kräfte auf einen Leiter gemessen, deren Größe vom Medium abhängig ist. Bei der zweiten Gruppe werden die Kräfte gemessen, die an einem Teil des Dielektrikums in einem elektrischen Felde infolge der darauf influenzierten Polarsationsladungen angreifen. Es muß hier also mit Gleichspannung gearbeitet werden.

Bei der Wellenlängenmessung wird nicht direkt ε, sondern der Brechungsindex n bestimmt. Nach der Maxwellschen Relation ist $n^2 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$. Hierin bedeutet ε_0 die DK in Luft. Sie gilt streng bei nichtabsorbierendem Körper. Bei absorbierendem Körper hingegen ist

$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = n^2 (1-k)^2$, wo k den Absorptionsindex bedeutet. Oft ist k sehr klein, doch erreicht er zuweilen bedeutende Werte. Neben der direkten Bestimmung des Verhältnisses der Wellenlängen gibt es noch die Methode der Nachbildung optischer Versuche mit elektrischen Wellen. Die letztgenannte Methode kann nur mit einer Meßspannung von einer Wellenlänge $\lambda <$ m durchgeführt werden.

Die moderne Entwicklung der Röhrentechnik ermöglicht die Erzeugung ungedämpfter Schwingungen bis zu Wellenlängen von einigen Zentimetern herab. Daher werden die erste und dritte Methode in neuerer Zeit viel verwendet. Andererseits zeigen die meisten Dipolflüssigkeiten bei einer Meßfrequenz von der Größenordnung 10^8 Hz wegen ihrer Relaxationszeit eine Anomalie. Deshalb wird die dritte Methode dann verwendet, wenn man die Relaxationszeit untersuchen will. Bei der ersten Methode kann man die Meßfrequenz beliebig hoch wählen; dabei treten bei höheren Frequenzen die größten Fehler auf, da die Verteilungskapazitäten der Zuleitung eine größere Rolle spielen, je größer die Frequenz ist. Wenn kleine Änderungen der DK untersucht werden sollen, so ist die Schwebungsmethode am günstigsten. Bei dieser Methode ist die Empfindlichkeit nur von der Meßfrequenz, bei der Brückenschaltung vom Vergleichskondensator abhängig. Es wurde aus diesem Grunde in der vorliegenden Arbeit die Schwebungsmethode angewendet.

3. Aufbau der Meßapparatur unter Berücksichtigung der Fehlerquellen.

a) Gesamtschaltung.

Die für die Schwebungsmethode erforderliche Apparatur besteht aus 6 Kreisen, deren Gesamtschaltung in Abb. 1 dargestellt ist (s. S. 4).

Die einzelnen Kreise sind folgendermaßen aufgebaut:

Kreis I. Dieser Kreis erzeugt eine Schwingungsfrequenz von genau 10^6 Hz. Die Schwingung wird durch einen Quarz stabilisiert. Als Schwingungsröhre wurde eine RE 134 verwendet, die wegen ihres geringen Heizstromes besonders günstig ist. Der Anodenkreis ist mit einem Luftkondensator abgestimmt. Die ganze Schaltung ist gut abgeschirmt in einem Aluminiumkasten eingebaut. Die Ausgangskopp-

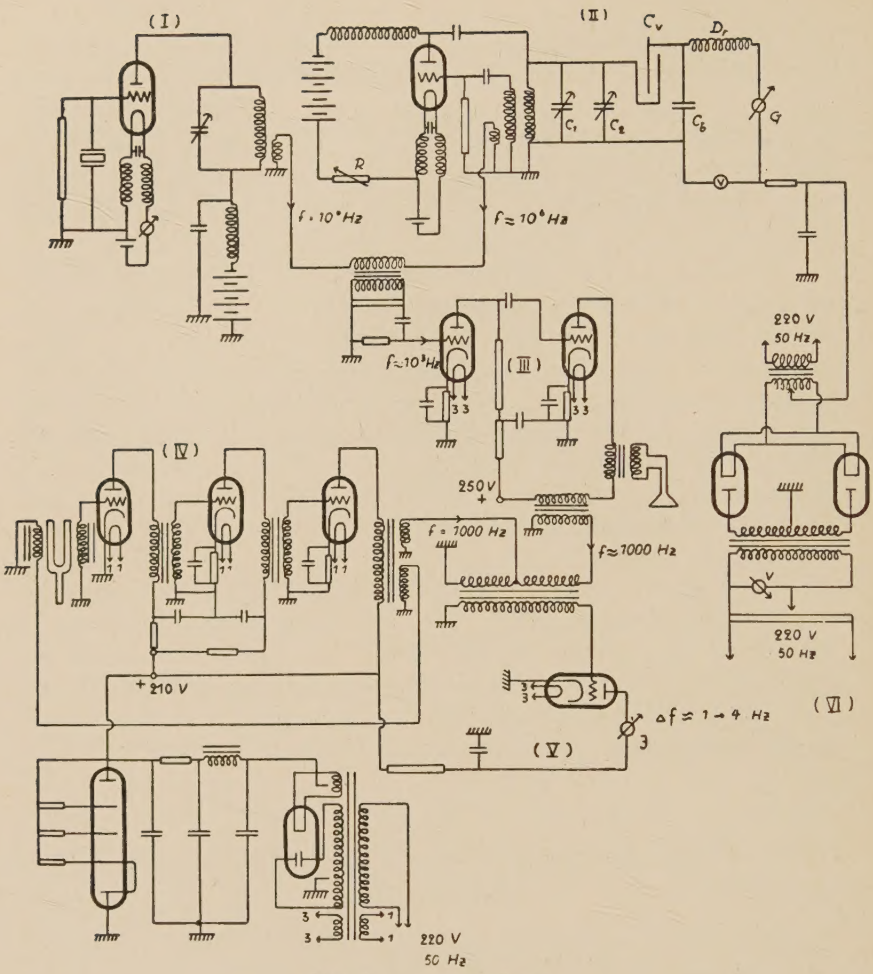

Abb. 1: Gesamtschaltung.

Kreis I. Oszillatorkreis für Normal-Frequenz von 10^6 Hz, gesteuert durch einen Quarz.

Kreis II. Versuchskreis.
C_v Versuchszelle mit veränderlicher Kapazität, C_1, C_2 Drehkondensatoren zum Abstimmen des Kreises auf ungefähr 10^6 Hz. $C_0 = \varepsilon \cdot C_v$.

Kreis III. Tonfrequenzverstärker.
Verstärkt die aus Kreis I und II durch Überlagerung erzeugte Tonfrequenzspannung.

Kreis IV. Oszillatorkreis für Normalfrequenz 1000 Hz, gesteuert durch eine Stimmgabel.

Kreis V. Gleichrichterkreis als Indikator für Schwebung aus Kreis III und IV zeigt an 1—4 Hz.

Kreis VI. Hochspannungskreis für 15 000 V Gleichspannung über Drossel Dr und Blockkondensator C_b an Versuchszelle C_v gekoppelt.

lung ist sehr lose, damit keine Rückwirkung eintritt. Die Anodenspannung beträgt 50 V, die Heizspannung 4 V.

Kreis II. Dieser Kreis ist der eigentliche Meßkreis. Als Schwingungsröhre wurde wieder eine RE 134 verwendet. Da der Schwingungskreis den Versuchskondensator C_v enthält, ist es günstig, ihn nicht direkt mit der Anodenbatterie in Verbindung zu bringen, sondern durch eine Anodendrossel und einen Blockkondensator zu trennen. Zur Abstimmung dienen die Kondensatoren C_1 und C_2. Der feine Drehkondensator C_2 hat eine Kapazitätsänderung von ca. 1 cm pro Skalenteil. Beide Kondensatoren haben einen Drehbereich von je 100 Skalenteilen. Infolgedessen kann man eine Kapazitätsänderung von 10^{-2} cm und mit Nonius sogar 10^{-3} cm ablesen. Diese Änderung der Kapazität ist für Messungen der Sättigungserscheinung noch nicht ausreichend. Daher wurde ein Kunstgriff angewendet, welcher darin besteht, daß man nicht die Schwingungselemente L und C verändert, sondern die Arbeitspunkte der Schwingungsröhre. Es geschieht dies durch einen veränderlichen Widerstand im Anodenkreis. Der Bereich der Frequenzänderung durch diesen Widerstand beträgt etwa 30 Hz. Die Frequenz der Versuchskreise wurde immer so eingestellt, daß eine Tonfrequenz von 1000 Hz entsteht. Diese Tonfrequenz wird durch die Überlagerung der Kreise I und II erzeugt. Um eine konstante Frequenz zu bekommen, wurde die Kopplung sehr lose gehalten. Da die Spannung der Schwebungsfrequenz gering ist, ist ein Tonfrequenzverstärker notwendig. Die Konstruktion des Versuchskondensators C_v wird weiter unten noch eingehender behandelt. C_b ist ein Blockkondensator, der zwei Bedingungen erfüllen muß: a) Für Hochfrequenz von 10^6 Hz darf dort kein merklicher Spannungsabfall auftreten, d. h. die Kapazität muß verhältnismäßig groß gegen den Versuchskondensator C_v sein. b) Für die hier verwendete Hochspannung von 15 kV darf keine Kapazitätsänderung auftreten, d. h. das Dielektrikum darf keine Spannungsabhängigkeit der DK aufweisen. Besonders günstig hierfür wäre ein Luftkondensator, der aber bei der erforderlichen Kapazität von einigen 1000 cm sehr große Abmessungen aufweisen würde. Es wurde daher ein Calit-Kondensator mit aufgedampftem Kupferbelag verwendet.

Kreis III. Der Tonfrequenzverstärker bildet den Kreis III. Dieser Verstärker ist erforderlich, da die Röhren der Kreise I und II mit niedrigeren Betriebsdaten verwendet werden als vorgesehen. Daher ergibt aber die Überlagerung dieser beiden Kreise eine sehr schwache Schwebungsspannung, die verstärkt werden muß. Der Verstärker wurde zweistufig als Netzgerät gebaut. An den Ausgang wurde ein Kopfhörer bzw. Lautsprecher angeschlossen. Für normale DK-Mes-

sungen reicht dieser Indikator aus. Will man aber feinere Kapazitätsänderungen messen, so kommt man damit nicht mehr aus. Hierfür wurde das Verfahren der Überlagerung nochmals angewendet, indem die Ausgangsspannung des Verstärkers mit einer anderen konstanten Frequenz überlagert wurde. Diese konstante Frequenz von 1000 Hz wurde von einem Stimmgabel-Generator (Kreis IV) geliefert.

Kreis IV. Die Schaltung dieses Kreises geht ebenfalls aus Abb. 1 hervor. Die Kurvenform der Schwingung wurde mit dem Oszillographen beobachtet. Merkliche Verzerrungen konnten nicht festgestellt werden. Um eine konstante Frequenz zu erzielen, wurde die Anordnung durch eine Glimmröhre stabilisiert. Der Stimmgabel-Generator wurde mit zwei Röhren REN 904 und einer Röhre RE 604 ausgerüstet.

Kreis V. Wie bereits vorher gesagt wurde, überlagern sich die Schwingungen der Kreise III und IV. Dabei ist die Frequenz des Kreises IV konstant gleich 1000 Hz, während die andere davon mehr oder weniger stark verschieden ist. Will man nun den Unterschied dieser beiden Frequenzen feststellen, so braucht man hierfür einen Indikator. Hierzu wurde ein Gleichrichter mit einem Gleichstromanzeiger verwendet. An das Gitter der Gleichrichter-Röhre wurden die beiden Tonfrequenzspannungen der Kreise III und IV geführt. Durch die Röhre wird die durch die Verschiedenheit der Frequenzen entstandene Schwebung gleichgerichtet und kann im Anodenkreis mittels Gleichstromanzeigers gemessen werden. Sind die beiden Frequenzen gleich, so zeigt der Stromanzeiger keine Schwebung an, d. h. er steht still. Ergeben sich jetzt Unterschiede in der Frequenz, so schwingt der Zeiger im Takt dieser Schwebung. Wird die Schwebungsfrequenz zu groß, so kann der Zeiger infolge seiner Trägheit nicht mehr folgen und steht ebenfalls still. Dadurch ist der Meßbereich für die Schwebungen begrenzt. Als Gleichrichterröhre wurde eine REN 904 in Audion-Schaltung verwendet. Dabei wurde der Arbeitspunkt so gewählt, daß die Gleichrichter-Kennlinie völlig ausgenutzt werden konnte. Der Zusammenhang zwischen der Schwebung df und der Kapazitätsänderung dC kann durch die folgende Gleichung ermittelt werden:

$$\frac{dC}{C} = \frac{-2\,df}{f}$$

Dabei ist C die gesamte Kapazität der Versuchskreise, f die Meßfrequenz. Beobachtet man in 2 sec eine Schwebung, dann beträgt bei

der verwendeten Meßfrequenz von 10^6 Hz die Kapazitätsänderung $10^{-6} \times C$. Bei dieser hohen Empfindlichkeit müssen die Hochfrequenzkreise und besonders der Versuchskreis elektrisch gut abgeschirmt und mechanisch stabil aufgebaut werden. Die Schwingungskonstanz muß so groß gehalten werden, daß $df/f < 10^{-6}$ ist. Bei der Zählung der Schwebungen ist der Einfluß der Änderung der Anodenspannung und des Heizstromes sehr groß. Weiterhin ist die durch Temperaturschwankungen hervorgerufene Kapazitäts- und Induktivitätsänderung der einzelnen Schaltelemente von großem Einfluß. Bei der derart empfindlichen Meßmethode spielen die kleinsten Änderungen eine große Rolle. Es ist hier noch nicht berücksichtigt, inwieweit der Versuchskondensator C_v, wenn die Meßflüssigkeit eingefüllt ist, die Konstanz beeinflußt. Innerhalb der Meßdauer muß die Konstanz erhalten bleiben. Es sind bei Spannungseffekt-Messungen hierfür etwa 15 Minuten erforderlich. Die folgende Tabelle zeigt die Schwebung in Abhängigkeit von der Zeit. Die Erzeugung einer Schwebung erfolgte durch Veränderung der Drehkondensatoren C_1 und C_2 und den Widerstand R.

Tabelle I. Schwebung in Abhängigkeit von der Zeit.

Schwebung	f	1	1,1	1,0	1,2	0,9	1,0	1,2	Hz/sec
Zeitdauer	t	0	5	10	15	20	25	30	Minuten.

Die Eichung der Kondensatoren C_1 und C_2 und des Widerstandes R wird noch weiter unten angegeben.

Kreis VI. Alls Hochspannungsquelle wurde eine Gleichrichteranlage von 15 kV aufgebaut. Sie besteht aus zwei Hochspannungstransformatoren von je 10 kV bei 100 V Primärspannung. Zur Erzielung einer besseren Glättung wurde eine Doppelweg-Gleichrichtung verwendet. Der auf der Hochspannungsseite stehende Heiztransformator hat eine Heizspannung von 4 Volt und besitzt eine Isolation gegen Erde von ca. 20 kV. Der Aufladekondensator beträgt 50 000 cm und hat eine Betriebsspannung von 30 kV. Als Vorwiderstand wurden 12 Megohm gewählt, so daß bei Kurzschluß höchstens 1 mA Gleichstrom fließen konnte. Die Spannung wurde mit einem statischen Hochspannungs-Voltmesser, System Starke-Schroeder, gemessen. Die Drossel zwischen Hochspannungsquelle und dem Versuchskondensator ist unbedingt notwendig, um den Hochfrequenzstrom von der Hochspannungsanlage abzusperren. Die Konstanz der Schwebung würde sonst wesentlich herabgesetzt werden.

Die Eigenfrequenz des Versuchskreises ist gegeben durch die Induktivitäten und Kapazitäten des ganzen Kreises. Die Gesamtkapa-

zität besteht aus dem Versuchskondensator C_v, den parallel geschalteten Drehkondensatoren C_1 und C_2 sowie den Kapazitäten der Zuleitungen und Spulen. Die mathematische Beziehung für die Frequenz des Schwingungskreises ist:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L\left(C_1 + C_2 + \frac{\varepsilon C_0 \; C_b}{C_b + \varepsilon C_0}\right)}}$$

Dabei bedeutet:

C_0	Versuchskondensator ohne Flüssigkeit,
C_1, C_2	die parallel zur Spule geschalteten Drehkondensatoren,
C_b	der mit der Versuchszelle in Reihe geschaltete Blockkondensator.

Die Versuchsanordnung ist so getroffen, daß $\frac{\varepsilon C_0}{C_b} \ll 1$, daher erhält man den Ausdruck:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L\,(C_1 + C_2 + \varepsilon C_0)}}$$

Unter der Voraussetzung, daß die Schwebung infolge der Änderung der DK entsteht, läßt sich obenstehende Formel nach ε differenzieren. Sie lautet dann:

$$d\varepsilon = - \frac{df}{f} \cdot 2\,[C_1 + C_2 + C_0]\,\frac{1}{C_0}$$

Nach dieser Gleichung ist die Änderung der DK $d\varepsilon$ zu berechnen, wenn die anderen Konstanten bekannt sind. f ist gegeben durch die Eigenfrequenz des Quarzes, wenn man zu Beginn den Versuchskreis mit dem Quarzkreis auf die Schwebung 0 gebracht hat. C_1, C_2 und C_0 kann man vorher messen. Die DK muß ebenfalls bekannt sein. Innerhalb dieses Versuches ist dann nur noch die Schwebung df veränderlich. Ist C_1 und C_2 gegen C_0 sehr klein, dann bekommt man den vereinfachten Ausdruck:

$$d\varepsilon = - 2 \cdot \frac{df}{f} \cdot \varepsilon$$

Es ist dies natürlich nur ein Idealfall, da die Spule und die Zuleitung immer eine kleine Kapazität haben, d. h. $C_1 + C_2 \neq 0$. Es ist daher die Genauigkeit zur Berechnung von $d\varepsilon$ größer, wenn man eine große Versuchszelle nimmt. Eine zu große Versuchszelle ist aber bezüglich der Schwingungsfähigkeit eines Schwingungskrei-

ses nicht günstig, da es bekannt ist, daß ein Schwingungskreis ein möglichst großes Verhältnis von L/C haben muß. Bei konstanter Frequenz $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$ kann man deshalb nicht ein beliebig große Versuchszelle nehmen. Herweg (4) hatte bei seinen Messungen die ideale Formel für $d\varepsilon$ zur Berechnung gebraucht und erhielt daher zu kleine Werte von $d\varepsilon$. Die Abweichung der gemessenen von den wahren Werten ist größer, wenn C_0 kleiner ist.

Wenn man nicht direkt die Schwebung zählt, sondern sie durch einen Feinkondensator kompensiert, dann kann die Änderung der DK mit Hilfe einer Eichkurve abgelesen werden. Die durch die DK-Änderung entstehende Schwebung ist gegeben durch die Formel:

$$df = -\frac{1}{2} \cdot \frac{f \cdot C_0 d\varepsilon}{C_1 + C_2 + C_0\varepsilon}$$

Die durch den Fein-Kondensator hervorgerufene Schwebung df ist:

$$df = -\frac{1}{2} \cdot \frac{f\, dC}{C_1 + C_2 + \varepsilon C_0}$$

Wenn man die Kompensation durchführt, dann erhält man den folgenden Ausdruck:

$$d\varepsilon = -\frac{dC}{C_0}$$

Da dC sehr klein ist, muß es genau gemessen werden. Das geschieht folgendermaßen: Man eicht die Apparatur zuerst mit Normal-Kapazitäten. Dann mißt man die DK verschiedener Flüssigkeiten in der Versuchszelle C_0. Man bekommt dann eine Eichkurve dieser Zelle, und zwar direkt geeicht in DK. Diese Eichkurve wurde aufgetragen über die Skalenteile des Grob-Kondensators. Um nun die kleine Änderung des Fein-Kondensators zu bekommen, wird dann noch das Übersetzungsverhältnis der Skala des Fein-Kondensators zu der des Grob-Kondensators geeicht. Da der Fehler der DK-Eichkurve kleiner als 5‰ und der des Übersetzungsverhältnisses kleiner als 5% ist, so hat das gemessene $d\varepsilon$ einen Fehler von ca. 5,5%.

b) Eichung der Apparatur.

Der grobe Kondensator C_1 wurde zuerst mit einem Normal-Drehkondensator geeicht. Die Kapazität in Abhängigkeit von der

Skala ist in Abb. 2 (s. S. 10) dargestellt. Die Eichung des Fein-Kondensators wurde durch einen Vergleich mit dem Grob-Kondensator durchgeführt. Das Übersetzungsverhältnis beträgt dabei etwa 1:100. Die genauere Darstellung sieht man auf Abb. 3 (s. S. 11). Aus diesen beiden Abbildungen sieht man, daß allein durch den Fein-Kondensator eine Kapazitätsänderung von etwa 10^{-3} cm gemessen

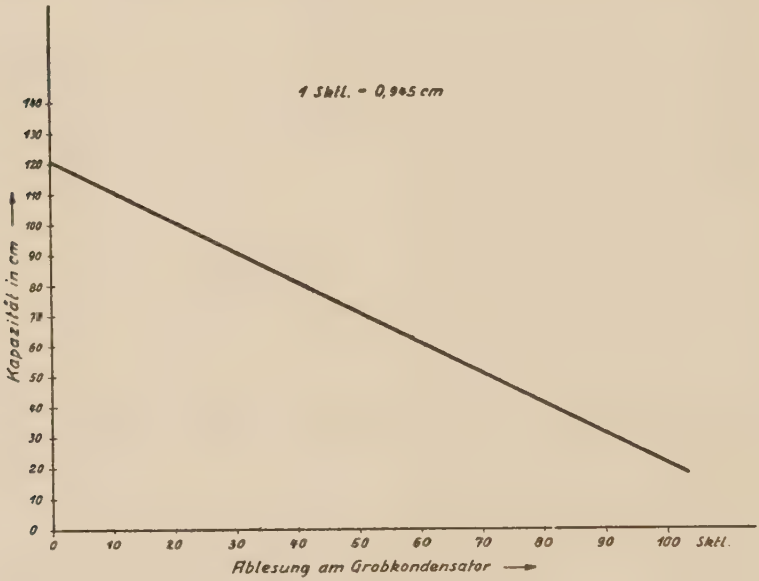

Abb. 2: Eichkurve des Grobkondensators C_1.
Stellung des Feinkondensators $C_2 = 50$ Sktl.

werden kann. Das Verhältnis der Frequenzempfindlichkeit zwischen Feinkondensator und Widerstand ist viel größer als 100. Daher wurde die Widerstandsskala mittels Schwebungen geeicht. Eine Schwebung kann höchstens bis 4 Hz gezählt werden. Deshalb ist es nicht möglich, eine stetige Eichung zu bekommen. Es wurde aber festgestellt, daß die Schwebungsänderung pro Skalenteil konstant ist. Ein Teilstrich der Widerstandsskala entspricht der Schwebung von 1 Hz oder eine Kapazitätsänderung von $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ cm. Die Kurve ist in Abb. 4 (s. S. 12) wiedergegeben.

c) Inbetriebnahme der Meßapparatur.

Die Hochfrequenzkreise I und II mußten ½ bis 1 Stunde vor jeder Messung eingeschaltet werden, um konstante Verhältnisse zu

bekommen. Dann wurde der Verstärker und Stimmgabel-Generator eingeschaltet. Wenn die Schwebung konstant blieb, wurde der Hochspannungskreis eingeschaltet. Die Spannung wurde allmählich durch ein Potentiometer gesteigert. Wenn die Schwebung schneller oder langsamer wurde, dann mußte man mit dem Fein-Kondensator C_2

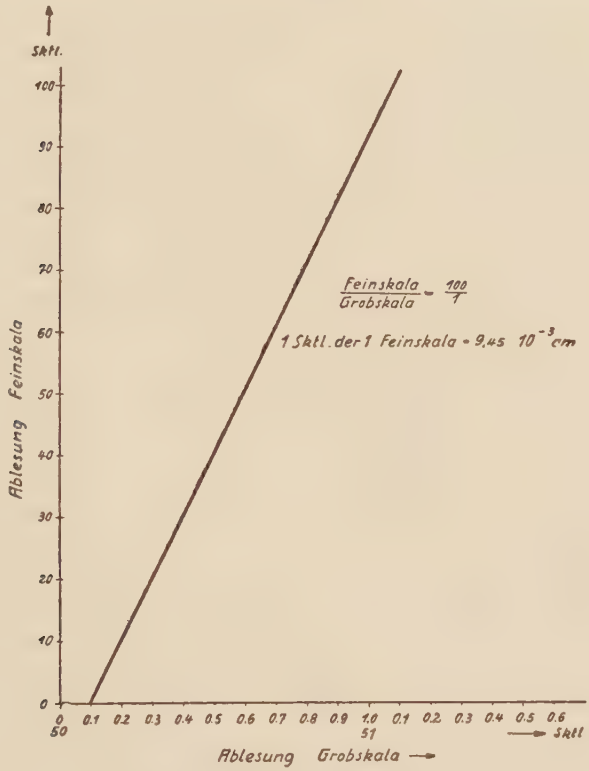

Abb. 3: Eichkurve des Feinkondensators C_2
Geeicht über Grobkondensator C_1.

oder mit dem veränderlichen Widerstand kompensieren, so daß man wieder eine zählbare Schwebungsfrequenz erhält. Nach der Drehrichtung der Skala konnte man feststellen, ob die Kapazitätsänderung dC positiv oder negativ ist. Mit diesem Verfahren wurde eine Reihe von Versuchen gemacht. Um die Brauchbarkeit des Hochspannungs-Blockkondensators festzustellen, wurde die Versuchszelle C_v ohne Flüssigkeit, d. h. mit Luft als Dielektrikum verwendet. Ergaben sich jetzt bei Einschalten der Hochspannung Schwebungs-

änderungen, so konnte der Fehler nur in der Spannungsabhängigkeit des Blockkondensators liegen. Danach wurde in den Versuchskondensator eine nichtpolare Flüssigkeit, z. B. Benzol, eingefüllt und erneut Hochspannung angelegt. Ergab sich jetzt eine Kapa-

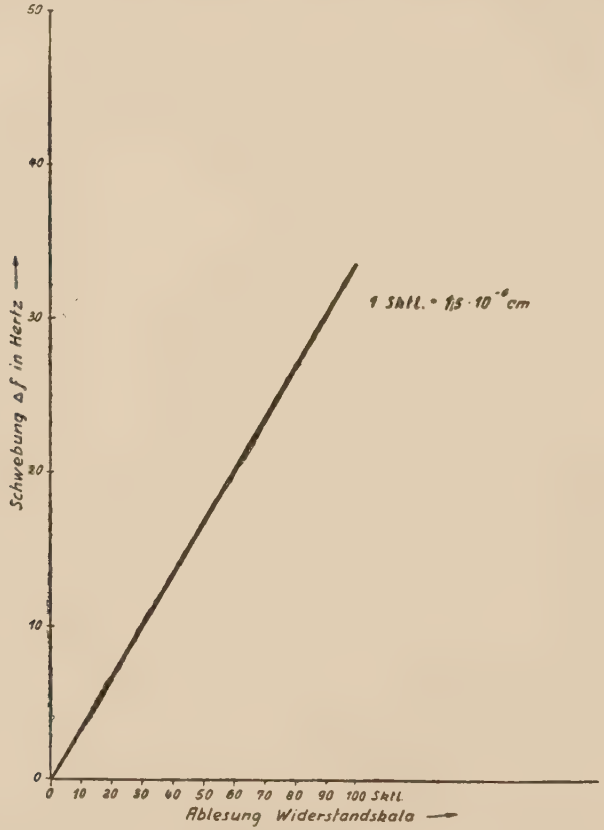

Abb. 4: Eichkurve des veränderlichen Wiederstandes. Schwebung df in Abhängigkeit von Sktl. des Widerstandes im Anodenkreis.

zitätsänderung im Sinne einer Zunahme, so konnte, da Benzol nicht spannungsabhängig ist, nur eine Abstandsänderung der Platten des Versuchskondensators hierfür verantwortlich sein. Für die Vorversuche wurde ein Plattenkondensator mit 4,9 cm^2 und einem Abstand von 0,3 mm verwendet. In Abb. 5 (s. S. 13) sind die damit erzielten Ergebnisse aufgetragen. Es wurden die polarfreien Substanzen Hexan und Benzol untersucht, die an sich eine Kapazitätszu-

nahme nicht zeigen dürfen. Wie aber aus der Abb. 5 hervorgeht, liegt hier eine Zunahme mit dem Quadrat der Feldstärke vor. Das bedeutet, daß die Platten infolge der elektrostatischen Anziehungskräfte ihren Abstand änderten. Aus diesem Grunde mußte eine Zelle entwickelt werden, die einen derartigen Fehler nicht zeigt.

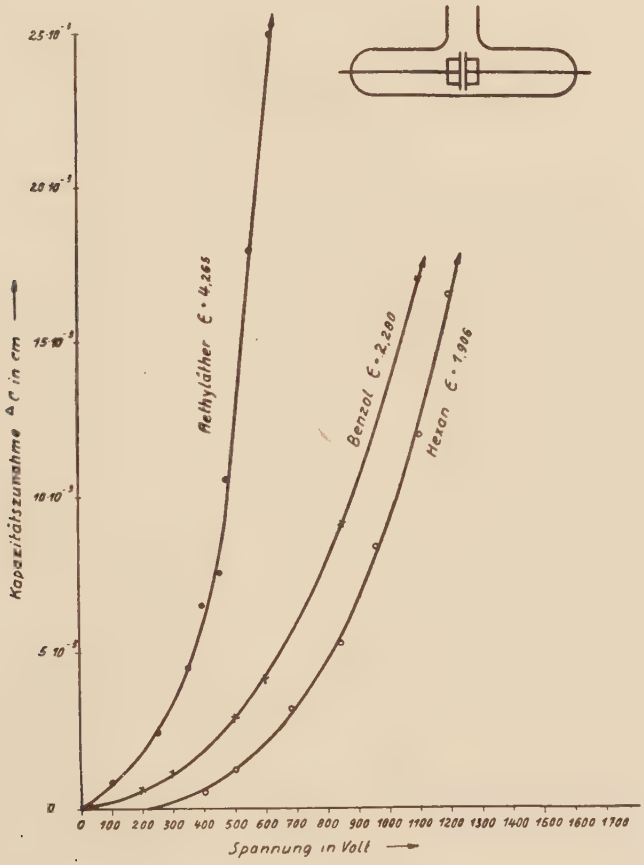

Abb. 5: Kapazitätszunahme infolge Abstandänderung der Platten des Versuchsgefäßes in Abhängigkeit von der angelegten Spannung bei verschiedenen Versuchsflüssigkeiten.

d) Die Versuchszelle.

Bei dem Entwurf der Versuchszelle sind zunächst die Stabilitätsverhältnisse zu berücksichtigen. Am günstigsten hat sich eine Anordnung aus einem dreifachen Zylinder erwiesen. Diese Zylinder werden ineinander gesteckt, wobei der Mittelzylinder die Hochspannung führt, während die beiden anderen auf Erdpotential liegen. Hierdurch wird die Anordnung hochfrequenzmäßig abgeschirmt, so daß man störungsfreier arbeiten kann. Die Konstruktion der Zelle geht aus der Abb. 6 hervor. Die Höhe der Zylinder beträgt

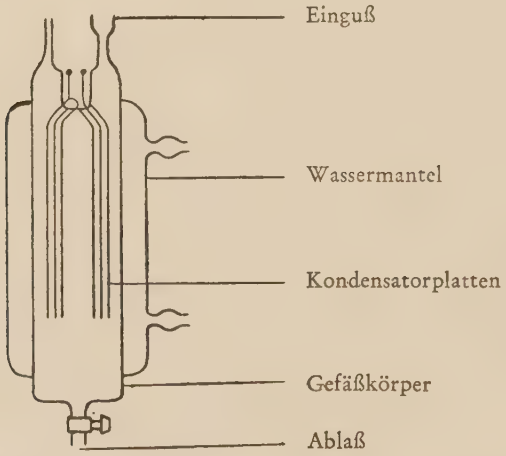

Abb. 6: Skizze des Versuchsgefäßes. Gefäßkörper aus Glas. Abstand der Platten 1,0 mm. Kondensatorplatten aus Messing vernickelt.

5,0 cm, der äußere Durchmesser 2,5 cm und der Abstand der Zylinderflächen 0,1 cm. Das ganze System ist in einen Glaskörper eingeschmolzen. Um die Temperatur der Versuchsflüssigkeiten verändern zu können, ist dieser Glaskörper mit einem Wassermantel umgeben.

Die Versuche mit nichtpolaren Substanzen zeigten keine Kapazitätsänderung bis zu einer Feldstärke von 35 kV/cm. Daher wurde diese Zelle für die Hauptversuche verwendet.

Wesentlich ist noch, daß eine derartige Zelle möglichst gut gereinigt werden kann, um bei Verwendung verschiedener Substanzen

keine Meßfehler zu erhalten. Auch diese Forderung war an der beschriebenen Zelle gut erfüllt, da sie es ermöglichte, mit entsprechenden Lösungsmitteln Durchspülungen vorzunehmen.

4. Durchführung der Messung.

a) DK-Messung.

Die Versuchszelle wurde vor Beginn jeder Messung mit Aceton oder Alkohol ausgespült. Die Entfernung dieser Spülflüssigkeiten, auf die großer Wert gelegt wurde, erfolgte mittels heißer Druckluft oder durch Absaugen mit Unterdruck. Die Zelle wurde anschließend mehrmals mit der zu untersuchenden Flüssigkeit durchgespült und dann die Probe eingefüllt. Hierbei wurde darauf geachtet, daß sich zwischen den Kondensatorbelägen keine Luftblasen bilden, da sonst die Ergebnisse gefälscht werden. Es war jetzt wesentlich, den Temperaturausgleich zu erzielen, da besonders bei Dipolflüssigkeiten die Temperaturabhängigkeit der DK sehr groß ist. Durch die Verwendung des Thermostaten konnte die Temperatur auf $\pm$ 0,005° C konstant gehalten werden. Erst wenn die Flüssigkeit, die Kondensatorplatten und das Gefäß die eingestellte Temperatur erreicht hatten, konnte mit der Messung begonnen werden. Wenn reproduzierbare Werte erreicht waren, konnte die DK durch die Einstellung der Kondensatoren C_1 und C_2 aus der Eichkurve entnommen werden.

b) Messung sehr kleiner Änderungen der DK.

Zuerst wurde die Skala des Grobkondensators C_1 so eingestellt, daß man die Schwebung O erhielt. Wenn alle Bedingungen hinsichtlich der Konstanz erreicht waren, dann wurde die Hochspannung allmählich gesteigert. Die durch die Spannungsabhängigkeit der DK hervorgerufene Kapazitätsänderung ergab eine Schwebung, die von O verschieden war. Diese Schwebung wurde jetzt mit der Feinskala wieder auf O kompensiert. Aus der Größe der Veränderung des Feinkondensators konnte mittels Eichkurve die Größe von $d\varepsilon$ abgelesen werden. Noch empfindlicher ist die Kompensation der Schwebung durch den veränderlichen Widerstand R. Auch hier wurde die DK-Änderung aus der Widerstandsänderung ermittelt. — Jeder Versuchspunkt wurde

durch Bildung der Mittelwerte aus 5 Einzelmessungen bestimmt. Zur Feststellung der Reproduzierbarkeit wurden die gleichen Messungen nach einigen Tagen wiederholt.

c) Weitere Messungen.

Zur Dichtebestimmung wurde entweder die Mohrsche Waage benutzt, oder die Flüssigkeiten wurden im geeichten Meßkolben von bekanntem Inhalt gewogen.

5. Meßergebnisse und ihre Auswertung.

a) Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit von der Spannung bei Einzelflüssigkeiten.

Wird ein Dielektrikum durch ein elektrisches Kraftfeld polarisiert, so bestehen drei Polarisationsmöglichkeiten. Einmal tritt durch die in den Atomen des Dielektrikums quasi elastisch gebundenen Elektronen eine Elektronen-Polarisation P_e auf. Besteht das Dielektrikum aus Molekülen, so verschieben sich auch noch die Atome der Moleküle gegeneinander, und zu der Elektronen-Polarisation kommt eine Atom-Polarisation P_a hinzu. Sind die Moleküle frei beweglich und besitzen sie auch ohne Wirkung eines äußeren Feldes „polare" Ladung, so drehen sie sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes mehr oder weniger in die Feldrichtung, und es ergibt sich so eine Orientierungspolarisation P_0, so daß sich die gesamte Polarisation des Dielektrikums zusammensetzt aus der Verschiebungspolarisation P_e und P_a und der Orientierungspolarisation P_0.

$$P = P_e + P_a + P_0.$$

Das an ein Molekül angreifende innere Feld F setzt sich zusammen aus dem äußeren Feld $\mathfrak{E}$ und einem der Polarisation P pro Raumeinheit proportionalen Betrag

$$F = \mathfrak{E} + \frac{4\pi}{3} P$$

Die Anwendbarkeit dieser Formel ist aber nur eine beschränkte. Denkt man sich also um ein Molekül eine kleine Kugel, deren Radius groß gegenüber der Ausdehnung des Moleküls, aber klein im Verhältnis zu den gewöhnlich mikroskopischen Längen ist, so

ist bei der Ableitung obiger Formel die Kraftkomponente F′ vernachlässigt, die auf das Molekül von der in der kleinen Kugel sich befindenden Substanz ausgeübt wird. Bei Gasen ist die Annahme F′ gleich O wegen des großen Abstandes der Moleküle gerechtfertigt, bei Flüssigkeiten aber darf man diese Annahme nur dann machen, wenn die Flüssigkeiten nicht assoziiert sind. Mit dieser Voraussetzung hatte Debye seine Dipoltheorie entwickelt und aus ihr gefolgert, daß die DK nicht assoziierter Dipolflüssigkeiten in starken elektrischen Feldern nach bestimmten Gesetzen abnimmt. Für kleine Änderungen der DK ergibt sich eine Abnahme nach der Formel:

$$\Delta\varepsilon = -\frac{4\pi}{15} \cdot \left(\frac{\varepsilon_0 + 2}{3}\right)^4 \cdot \frac{n\mu^4}{k^3 T^2} \mathfrak{E}^2 \qquad (1)$$

also proportional dem Quadrat der angelegten Feldstärke.

ε_0 = Dielektrizitätskonstante für schwache Felder,
n = Zahl der Moleküle in Kubikzentimeter,
μ = Dipolmoment, e. s. E.
k = Boltzmannsche Konstante,
T = Absolute Temperatur,
$\mathfrak{E}$ = Angelegte Feldstärke, e. s. E.

Dabei ist aber noch der Kerreffekt unberücksichtigt geblieben. Nicht nur Dipole, sondern auch unpolare Moleküle werden nämlich durch starke Felder orientiert. Jedes Molekül kann bezüglich seiner Deformierbarkeit durch die drei Hauptpolarisierbarkeiten in drei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen dargestellt werden; bei verschiedenen Hauptpolarisierbarkeiten wird dann durch ein elektrisches Feld eine Orientierung hervorgerufen, und zwar ist diese proportional dem Quadrat der Feldstärke, sie ist aber viel kleiner als der durch den Dipol hervorgerufene Effekt und daher ist in obiger Formel das den Kerreffekt wiedergebende Glied weggelassen worden. Wie der Faktor $\left(\frac{\varepsilon_0 + 2}{3}\right)^4$ zeigt, sollte die Abnahme der DK um so größer sein, je größer ε_0 ist. Versuche von Malsch (3) in Wasser ($\varepsilon_0 = 81$) zeigten eine 3500 mal kleinere Abnahme der Dielektrizitätskonstanten als der Wert, berechnet nach Debyescher Formel. Dagegen lieferten Versuche von Herweg (4) eine Bestätigung der einfachen Theorie für Äthyläther, dessen Moleküle auch auf Grund aller sonstigen Erfahrungen in der Flüssigkeit noch als nahezu frei

drehbar angesehen werden können. Diese Verhinderung der Frei-Rotation in Flüssigkeiten ließ Debye eine neue Formel entwickeln. Sie lautet:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon_0} = -\frac{4\pi}{15} \cdot \frac{n\mu^4}{k^3T^3} \cdot \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{\varepsilon_0 + 2}{3}\right)^4 \cdot R(y)\,\mathfrak{E}^2$$

wobei

$$R(y) = 3\left[(1 - 4L^2 + 3L^4) + \frac{4L}{y}(2L^2 - 1) + \frac{6L^2}{y^2}\right] \quad (2)$$

$$L(y) = \mathfrak{C}\mathfrak{t}\mathfrak{g}\,(y - \frac{1}{y}), \quad y = \frac{E}{kT}$$

R(y) ist der sogenannte Reduktionsfaktor. Für Wasser ergibt sich $\frac{1}{3500}$. E ist die Rotationsverhinderungs-Energie.

Es wurde die Abhängigkeit der DK von der Feldstärke in Amyl-, Butyl- und Propylalkohol und in Nitrobenzol gemessen. Die Messungen wurden bei verschiedenen Temperaturen vorgenommen. In den Abb. 7, 8, 9, 10 (s. S. 19/22) sind die Ergebnisse aufgetragen. Aus den Kurven ist zu entnehmen, daß $-(d\varepsilon/\varepsilon)$ mit dem Quadrat der Feldstärke bei allen Substanzen linear zunimmt. Die Zunahme ist bei niedrigen Temperaturen stärker als bei höheren, d. h. daß die Neigung der Geraden $-(d\varepsilon/\varepsilon) = f(E^2)$ mit zunehmender Temperatur abnimmt.

Berechnet man die Werte von $-(d\varepsilon/\varepsilon)$ nach der Formel (1), so bekommt man wohl auch einen linearen Verlauf, doch sind die berechneten Werte bei den Substanzen Propylalkohol und Nitrobenzol mit den gemessenen Werten nicht übereinstimmend. Bei Amylalkohol und Butylalkohol ist dagegen diese Übereinstimmung in den Grenzen der Meßgenauigkeit sehr gut. Der Vergleich der berechneten und der gemessenen Werte ist in Abb. 11 (s. S. 23) für eine Temperatur von 20° C aufgetragen. In Abb. 12 (s. S. 24) ist der Verlauf von $d\varepsilon/\varepsilon$ in Abhängigkeit von der Temperatur bei einer bestimmten Feldstärke E = 30 kV/cm aufgetragen. Als Vergleich sind die nach der Beziehung von Debye errechneten Werte miteingetragen. Nach Debye müßte $d\varepsilon/\varepsilon$ bei zunehmender Temperatur sich mit $1/T^3$ verkleinern. Es ist auch hier wieder zu erkennen, daß Amylalkohol und Butylalkohol eine bessere Übereinstimmung mit der Rechnung zeigen als Propylalkohol und Nitrobenzol.

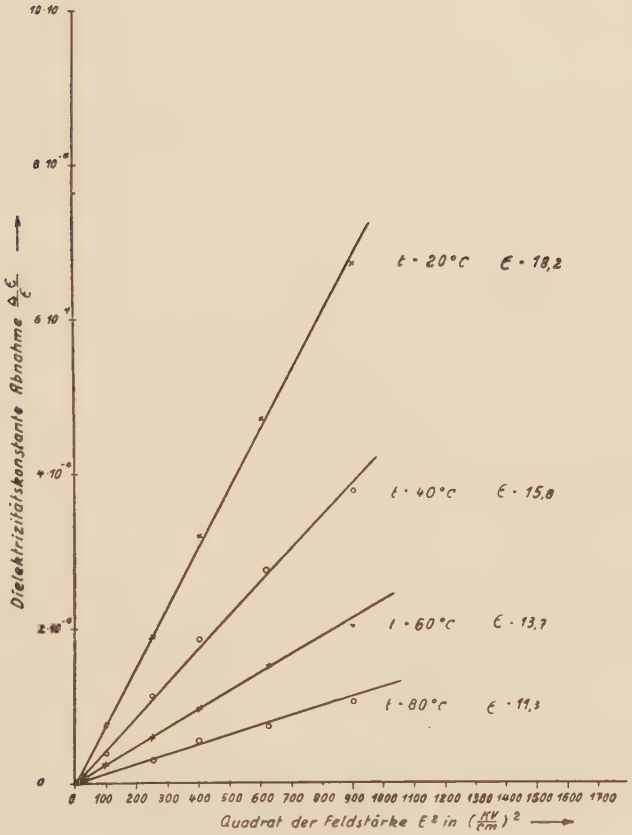

Abb. 7: Butylalkohol. Abnahme der Dielektrizitätskonstanten in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke, bei verschiedenen Temperaturen.

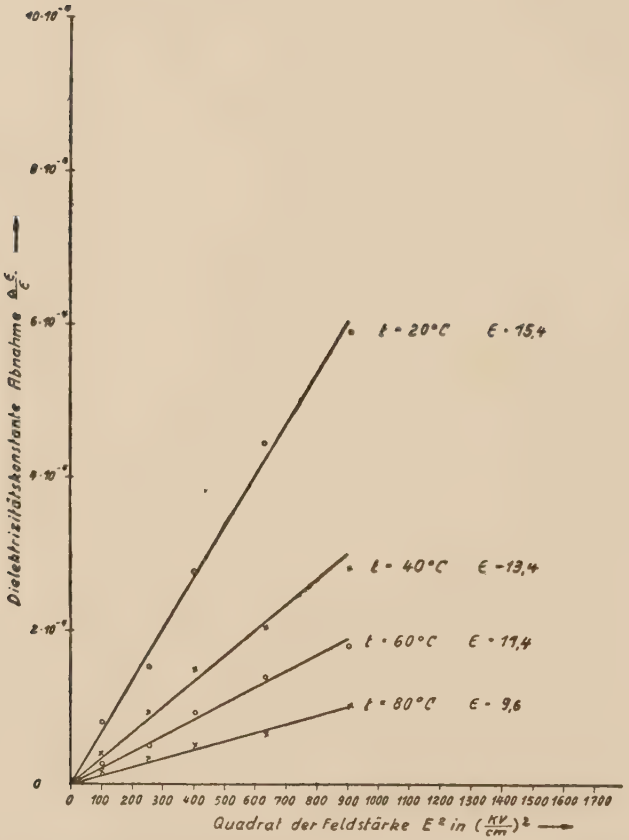

Abb. 8: Amylalkohol. Abnahme der Dielektrizitätskonstanten in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke bei verschiedenen Temperaturen.

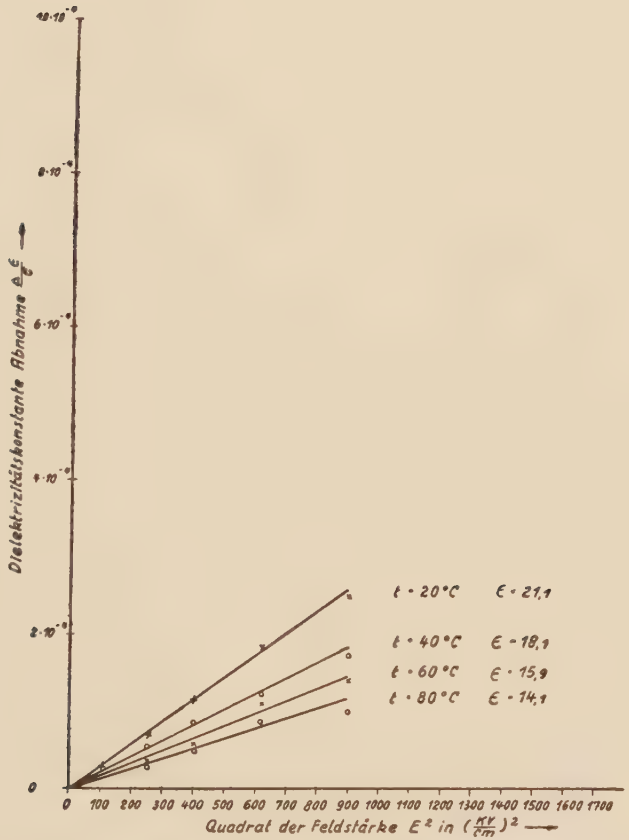

Abb. 9: Propylalkohol. Abnahme der Dielektrizitätskonstanten in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke bei verschiedenen Temperaturen.

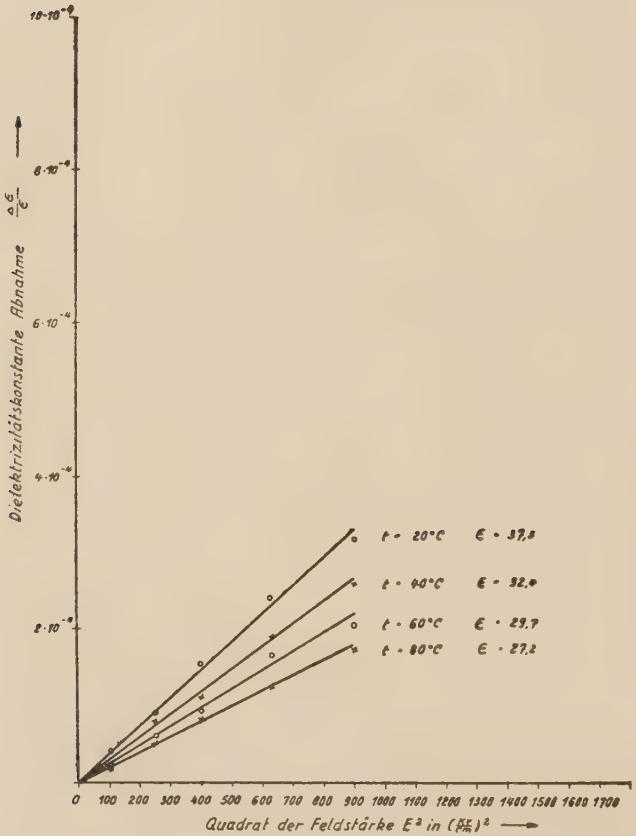

Abb. 10: Nitrobenzol. Abnahme der Dielektrizitätskonstanten in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke bei verschiedenen Temperaturen.

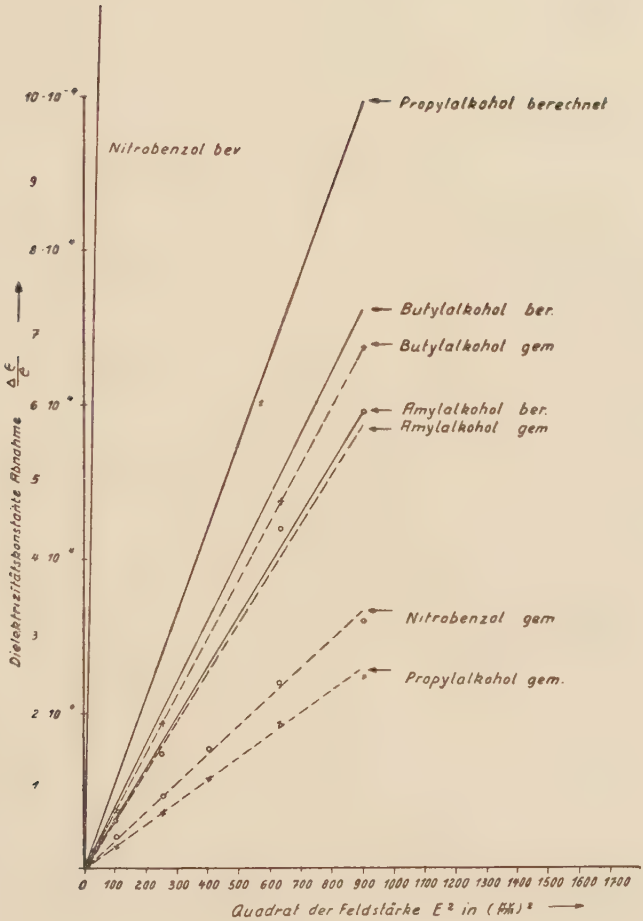

Abb. 11: Abnahme der Dielektrizitätskonstanten in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke. Vergleich zwischen gemessenen und nach Debye berechneten Werten für verschiedene Flüssigkeiten bei der konstanten Temperatur von 20° C.

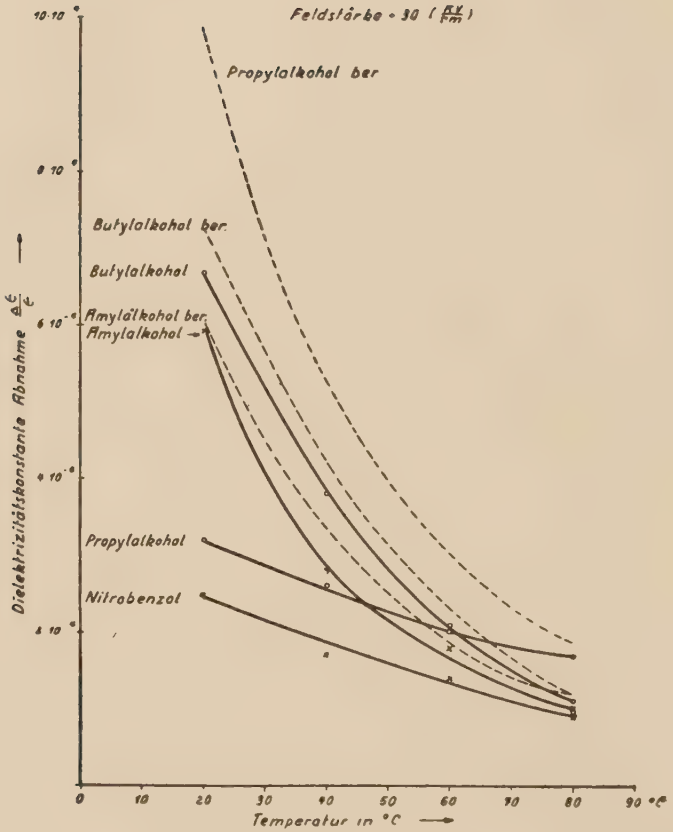

Abb. 12: Abnahme der DK bei Beanspruchung mit der konstanten Feldstärke E = 30 kV/cm in Abhängigkeit von der Temperatur.
Gestrichelt = berechnete Werte.
Ausgezogen = gemessene Werte.

Eine derartige Abweichung stellte Malsch auch in Wasser, einer stark assoziierten Flüssigkeit, fest. Um diese Abweichung rechnerisch zu erfassen, führte er für das innere Feld statt der von Mosotti angegebenen Form

$$F = \mathfrak{E} + \frac{4\pi}{3} P$$

die neue Beziehung:

$$F = \mathfrak{E} + \frac{4\pi}{3} P(1+\nu)$$

worin ν eine Größe ist, die die Assoziation charakterisieren soll. Es ergibt sich demnach für die Abnahme der DK mit der Feldstärke folgende Beziehung:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{4\pi}{15} \cdot \frac{n\mu^4}{k^3T^3} \cdot \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \left(\frac{\varepsilon_0+2}{3}\right)^4 \cdot \left(1+\nu\frac{\varepsilon_0-1}{\varepsilon_0+2}\right)^4 \mathfrak{E}^2 \qquad (3)$$

Diese Beziehung entspricht der Debyeschen Formel (1), erweitert um ein Zusatzglied:

$$d\varepsilon/\varepsilon = (d\varepsilon/\varepsilon)_{\text{Debye}} \left(1 + \nu\frac{\varepsilon_0-1}{\varepsilon_0+2}\right)^4$$

Tabelle II: Berechnung von ν aus der Formel (3) und den gemessenen Werten.

Substanzen	T	$n\frac{\text{Moleküle}}{cm^3}$	DK	μ e. s. E.	$\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\right)_{\text{Debye}}$	$\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}\right)_{\text{gem.}}$	ν
Amyl-alkohol	293	$5{,}59.10^{21}$	15,4	$1{,}83.10^{-18}$	$0{,}594.10^{-7}$	$0{,}600.10^{-7}$	0
	313	5,49. „	13,2	„	0,331. „	0,331. „	0
	333	5,40. „	11,4	„	0,183. „	0,183. „	0
	353	5,32. „	9,55	„	0,102. „	0,100. „	0
Butyl-alkohol	293	$6{,}63.10^{21}$	18,2	$1{,}65.10^{-18}$	$0{,}722.10^{-7}$	$0{,}680.10^{-7}$	0
	313	6,50. „	15,8	„	0,400. „	0,390. „	0
	333	6,36. „	13,7	„	0,227. „	0,220. „	0
	353	6,27. „	11,3	„	0,117. „	0,110. „	0
Propyl-alkohol	293	$8{,}14.10^{21}$	21,1	$1{,}53.10^{-18}$	$0{,}986.10^{-7}$	$0{,}260{,}10^{-7}$	0,327
	313	7,96. „	18,1	„	0,513. „	0,180. „	0,271
	333	7,82. „	15,9	„	0,303. „	0,150. „	0,250
	353	7,70. „	14,1	„	0,186. „	0,120. „	0,220
Nitro-benzol	293	$5{,}96.10^{21}$	35,7	$3{,}90.10^{-18}$	$124\ .10^{-7}$	$0{,}32.10^{-7}$	0,842
	313	5,85. „	32,4	„	77 . „	0,27. „	0,830
	333	5,74. „	29,7	„	48,6. „	0,220. „	0,818
	353	5,63. „	27,2	„	31,7 „	0,190. „	0,805

Setzt man nun in die vorstehende Beziehung die gemessenen Werte von $d\varepsilon/\varepsilon$ ein, so kann man daraus die Größe ν berechnen.

In der vorliegenden Arbeit wurde nun experimentell untersucht, wie sich diese Größe ν in verschiedenen Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen verhält.

In Tabelle I (s. S. 25) sind die Werte für aus den in Abb. 7, 8, 9 und 10 mitgeteilten Meßergebnissen berechnet und in Abb. 13 (s. S. 27) aufgetragen worden. Für Amylalkohol und Butylalkohol ist die Größe ν gleich 0, da ja, wie schon gesagt, hier eine gute Übereinstimmung mit der Debyeschen Beziehung vorliegt. Bei der vorliegenden Versuchsgenauigkeit müssen demnach diese beiden Flüssigkeiten assoziationsfrei sein. Für die beiden anderen Substanzen Propylalkohol und Nitrobenzol ist ν nicht gleich 0. Sie zeigt in Abhängigkeit von der Temperatur einen linearen Verlauf, und zwar derart, daß sie mit zunehmender Temperatur abnimmt. Man sieht hier also, welche große Rolle die Assoziation spielt.

b) Spannungseffekt der Dielektrizitätskonstante bei Mischungen.

Es wurden verschiedene Alkohole miteinander gemischt. Als Grundsubstanz wurde Amylalkohol mit der DK $\varepsilon = 15{,}6$ verwendet. Amylalkohol ist nach der vorliegenden Messung assoziationsfrei. Die erste Mischung besteht aus Amylalkohol und Butylalkohol, also zwei assoziationsfreien Flüssigkeiten. Die zweite Mischung besteht aus Amylalkohol und Nitrobenzol.

Da die Größe der DK-Abnahme bei zunehmender Spannung von der Größe der DK abhängt, wurden zunächst die Werte der DK beider Mischungen gemessen (Abb. 14, S. 28). Da die gemischten Flüssigkeiten alle polar sind, zeigen sie uns kein physikalisches Verhalten, wie z. B. Polarisation usw. Wird aber der Spannungseffekt untersucht, so kann man ersehen, wie sich die beiden Arten von Dipolen gegeneinander verhalten.

Abb. 15 und 16 (s. S. 29 u. 30) zeigen die Meßergebnisse, und zwar die Abnahme der DK in Abhängigkeit von der Feldstärke bei verschiedener Konzentration. Aus dem linearen Verlauf kann man schließen, daß die Sättigungserscheinung nicht nur bei reiner Substanz, sondern auch in Mischungen auftritt. Da die Relaxationszeit der untersuchten Flüssigkeiten in der Größenordnung von 10^{-8} sec. liegen und die angewendete Schwingungsdauer 10^{-6} sec. ist, so ist diese Erscheinung zu erwarten. Interessant ist, daß die Abnahme der DK

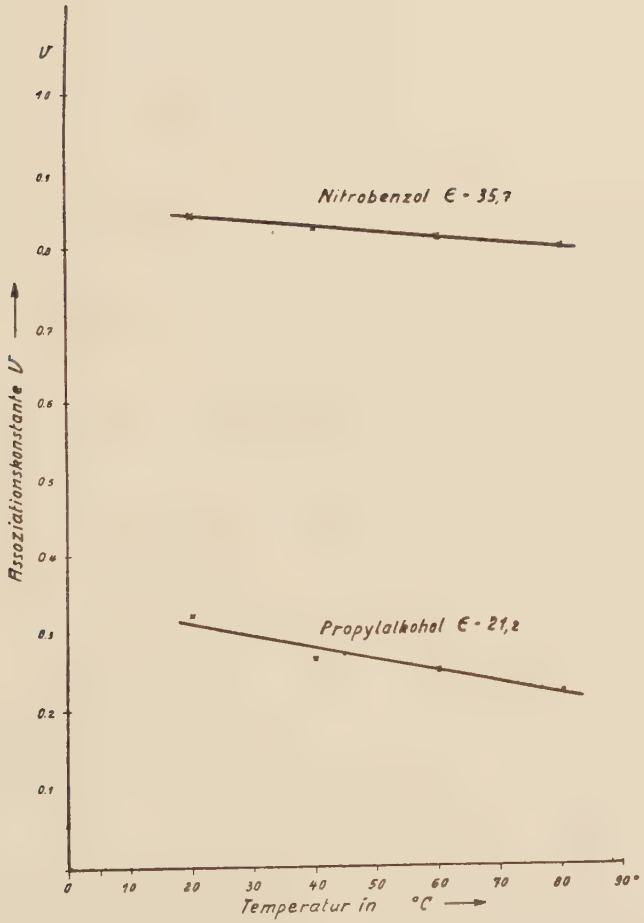

Abb. 13: Assoziationsgröße ν in Abhängigkeit von der Temperatur bei Nitrobenzol und Propylalkohol.

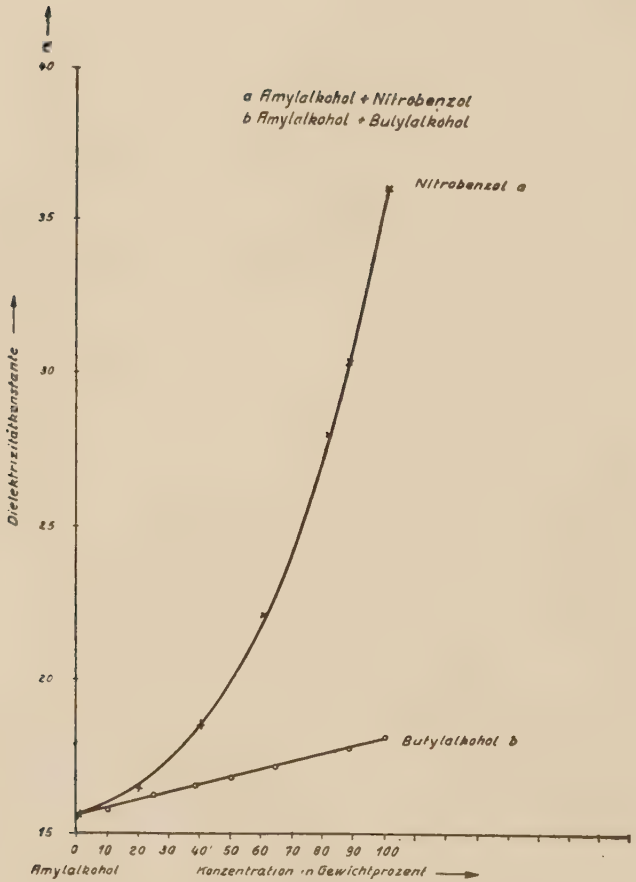

Abb. 14: Amylalkohol + Butylalkohol, Amylalkohol + Nitrobenzol. Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit von der Konzentration. $t = 20^0$ C konstant.

Abb. 15: Amylalkohol + Butylalkohol. Abnahme der Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke für verschiedene Konzentrationen. $t = 20^0$ C.

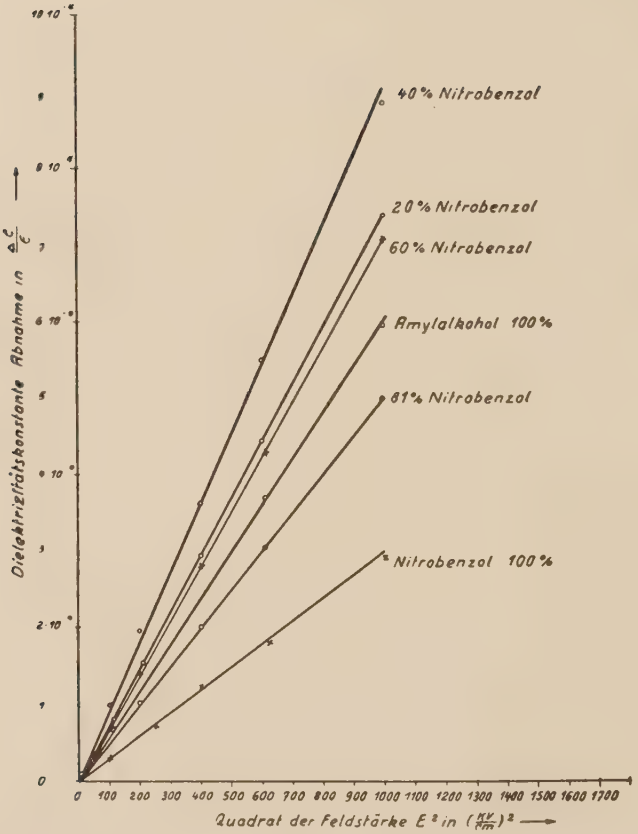

Abb. 16: Amylalkohol + Nitrobenzol. Abnahme der Dielektrizitätskonstante in Abhängigkeit vom Quadrat der Feldstärke für verschiedene Konzentrationen. $t = 20^0$ C.

der Mischung nicht immer zwischen derjenigen der einzelnen Komponenten liegt. Während der Verlauf $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}_{3} = f$ (Konzentration) bei der Mischung Amylalkohol und Butylalkohol linear ist, zeigt er bei Mischung Amylalkohol mit Nitrobenzol (Abb. 17, S. 32) ein Maximum. Das läßt sich wie folgt erklären:

Amylalkohol und Butylalkohol sind als Einzelflüssigkeiten assoziationsfrei. Betrachtet man die Abb. 17, so sieht man, daß $d\varepsilon/\varepsilon$ in Abhängigkeit von der Konzentration einen linearen Verlauf hat, d. h. daß sich die Mischung beider Stoffe so verhalten, als ob sie auch assoziationsfrei wären.

Nitrobenzol ist eine stark assoziierte Flüssigkeit, d. h. daß das $d\varepsilon/\varepsilon$ der reinen Substanz kleiner ist, als der großen DK entspricht. Bei kleinen Konzentrationen von Nitrobenzol in Amylalkohol ist die Wechselwirkung zwischen Nitrobenzolmolekülen noch nicht so stark, d. h. daß die Assoziation hier noch keine so große Rolle spielt. Die DK dieser Mischung ist aber größer als die des reinen Amylalkohols. Demzufolge ergeben sich hier größere Werte von $d\varepsilon/\varepsilon$. Bei Zunahme des Anteils von Nitrobenzol in der Mischung tritt jetzt eine gegenseitige Beeinflussung der Nitrobenzolmoleküle auf. Bei diesen Konzentrationen entspricht nun nicht mehr $d\varepsilon/\varepsilon$ dem Wert, wie er sich aus der Zunahme der DK ergeben müßte, sondern wird geringer. Es stehen hier also zwei Wirkungen gegenüber:

1) Vergrößerung von $d\varepsilon/\varepsilon$ infolge Zunahme der DK der Mischung und 2) Verkleinerung von $d\varepsilon/\varepsilon$ infolge der Assoziationskräfte. Bei der Mischung mit 40% Nitrobenzol sind beide Wirkungen gleich groß. Es liegt hier der höchste Wert von $d\varepsilon/\varepsilon$ vor. Bei größeren Konzentrationen von Nitrobenzol wird die Wirkung der Assoziation stärker, so daß von diesem Punkte $d\varepsilon/\varepsilon$ wieder abnimmt bis auf den Wert von 100% Nitrobenzol.

6. Zusammenfassung.

Es wird eine Meßapparatur zur Messung kleiner Änderungen der Dielektrizitätskonstanten nach der Schwebungsmethode entwikkelt und die Meßempfindlichkeit gesteigert.

Es wird die Absolutmessung der Änderung der DK als Funktion der Feldstärke in Amyl-, Butyl- und Propylalkohol sowie Nitrobenzol durchgeführt. Die Ergebnisse werden mit der Debyeschen Theorie verglichen.

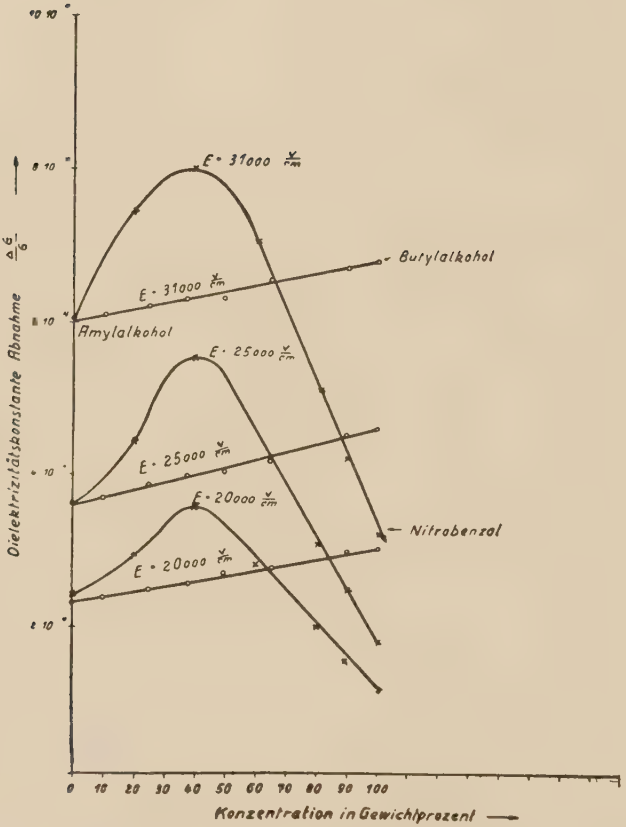

Abb. 17: Amylalkohol + Butylalkohol; Amylalkohol + Nitrobenzol Abnahme der Dielektrizitätskonstanten bei Beanspruchung verschiedener Feldstärken in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. $t = 20^0$ C.

Bei Amyl- und Butylalkohol ist die Übereinstimmung gut, während sich bei Propylalkohol und Nitrobenzol starke Abweichungen ergeben.

Weiterhin wurde die Änderung der DK bei hohen Feldstärken bei verschiedenen Temperaturen in den genannten Stoffen untersucht.

Bei Butyl- und Amylalkohol ist die Übereinstimmung der experimentellen Werte $d\varepsilon/\varepsilon = f(T)$ bei konstanter Feldstärke mit der Debyeschen Theorie gut. Hingegen treten bei Nitrobenzol und Propylalkohol starke Abweichungen auf.

Der Verlauf der DK in Abhängigkeit von der Spannung wurde ebenfalls in Mischungen gemessen.

Bei Zusatz von Butylalkohol zur Grundsubstanz Amylalkohol erhält man eine lineare Zunahme von $(-d\varepsilon/\varepsilon)$ mit steigendem Gehalt an Butylalkohol.

Setzt man Nitrobenzol dem Amylalkohol zu, so zeigt $(-d\varepsilon/\varepsilon)$ ein Maximum bei 40% Nitrobenzol.

Herrn Professor Dr. Nikuradse möchte ich für die Förderung dieser Arbeit ergebenst danken.

Die Arbeit wurde mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt, wofür ich ihr auch an dieser Stelle danken möchte.

7. Literaturverzeichnis.

(1) Debye: Polare Moleküle. Jahrg. 1929. Physikalische Zeitschr. Bd. 36 (1935), S. 193.

(2) Nikuradse: Das flüssige Dielektrikum. Jahrg. 1934.

(3) Malsch: Physikalische Zeitschrift, Bd. 33 (1932), S. 387.

(4) Herweg: Zeitschrift für Physik, Bd. 3 (1920), S. 40.

Lebenslauf.

Ich, Chi Tso-Chun, wurde am 1. Oktober 1912 zu Wei Hai Wei geboren.

Mein Vater ist chinesischer Staatsangehöriger und Kaufmann in Wei Hai Wei.

Ich besuchte die „Volksschule" in Wei Hai Wei für neun Jahre, dann die Mittelschule in Schanghai für drei Jahre.

Mit dem Abschluß des Reifezeugnisses ging ich auf die Universität in Tsingtau und studierte dort vier Jahre und erlangte den akademischen Titel eines B.S. (Bachelor of science).

Im September 1936 kam ich nach Deutschland und studierte ein Semester an der Technischen Hochschule in Dresden. Im April 1937 immatrikulierte ich mich an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin. Gleichzeitig arbeitete ich ein Jahr bis Ende 1937 am Institut für Schwingungsforschung an der Technischen Hochschule Berlin. Ab April 1938 bis zum heutigen Tage war ich im Laboratorium für Elektronen- und Ionenlehre an der Technischen Hochschule Berlin mit der Anfertigung der vorliegenden Arbeit beschäftigt.